2.3.'92

„Lernen, wie Geist funktioniert“

Sind Gefühle nur ein Cocktail von Botenstoffen, Gedanken elektrische Schwingungen der Großhirnrinde? Entstehen Erinnerungen als Schaltungen an den Toren von Zellmembranen? Gemeinsam dringen Molekularbiologen und Linguisten, Informatiker und Psychologen in das geheimnisvolle Nervenknäuel im Kopf vor. Mit einem interdisziplinären Forschungsvorstoß sind sie den Gesetzen des menschlichen Geistes auf der Spur.

Aus Afrika stammt eine Affenart mit höchst bizarrem Verhalten. Ohne erkennbaren Grund versammeln sich die Tiere häufig in Gruppen, um im Verlaufe allgemeinen Schnatterns in Anfälle unwillkürlicher, krampfhafter Atemstöße auszubrechen.

Das laute, hilflose, wechselseitig verstärkte Gruppenkeuchen kann so stark werden, daß es die Tiere förmlich lähmt. Doch weit davon entfernt, derartige Zustände zu meiden, scheinen einige von ihnen geradezu süchtig danach zu sein.

Dieses im Tierreich einzigartige, groteske und unproduktive Verhalten hat die Affen nicht gehindert, zur erfolgreichsten Spezies des Planeten zu werden. In über fünf Milliarden Exemplaren bevölkern sie mittlerweile nicht nur Afrika, sondern auch alle anderen Kontinente. Ihr wissenschaftlicher Name ist Homo sapiens, das beschriebene Verhalten heißt Lachen.

Der Mensch lacht und weint nicht nur, er gebärdet sich auch sonst absonderlich. Er läßt sich durch etwas auf Papier verschmierte Tinte zu Tränen des Glückes rühren oder kann darüber in tiefste Verzweiflung fallen. Er beobachtet stundenlang Licht, wie es durch einen Zelluloidstreifen auf eine Leinwand fällt, vor Spannung und Angst stockt ihm dabei fast der Atem.

Er kann eine befremdliche Passion für das Herumrücken von Holzfiguren auf einem karierten Brett oder für das Sammeln gezackter Papierschnipsel entwickeln. Oder er stürzt sich ohne jede Not unter Gefahr für Halswirbel und Oberschenkel auf zwei Plastiklatten unwirtliche Berghänge hinunter.

Der Schlüssel zu den eigenartigen Phänomenen von Komik, Trauer und Stolz, zu Langeweile, Abenteuerlust und Spieltrieb ebenso wie zum spektakulären evolutionären Erfolg des Menschen liegt hinter seiner Stirn: in einem grauweißen Klumpen aus Eiweiß, Kohlenhydrat und Fett, zerfurcht wie eine Walnuß, weich wie eine reife Avocado.

Neun Monate lang bilden sich Sekunde für Sekunde 4000 Nervenzellen im Kopf eines menschlichen Fötus. Jede von ihnen sendet Tausende kleiner Ärmchen aus, die in entfernten Hirnarealen nach geeigneten Zielzellen suchen. Bei der Geburt des Säuglings haben sich schließlich unter der zarten Schädeldecke rund 100 Milliarden Zellen zu einem Knäuel zusammengeschlossen.

Im Laufe des Menschenlebens wächst dann das Gewicht des Steuerorgans auf das Vierfache an. Doch nach der Geburt werden keine weiteren Neuronen mehr gebildet; statt dessen verdrahten sie sich untereinander, während der Mensch Erinnerungen, Wissen und Erfahrungen ansammelt, bis schließlich rund 100 Billionen Nervenärmchen zum komplexesten Gebilde des Universums

необдуманный

$$pK\ (6{,}1) + \log \frac{[HCO_3^-]\ mmol/l}{[CO_2]\ mmol/l} = pH$$

verschlungen sind – dem organischen Substrat einer Persönlichkeit.

In diesem Nervenknäuel sind die Pein der Mathematikstunden, die Ängste der ersten Liebesnacht und die Wut auf die längst gestorbenen Eltern gespeichert. Der glibberige, graue Lappen beherbergt Hunderte von Pop-Hits oder ganze Symphonien. In seinen Windungen und Spalten wurden die Pyramiden erbaut, die Hamlet-Verse ersonnen und der Ottomotor konstruiert.

Das Zellgestrüpp hinter der Stirn des Menschen hat die Macht über den ganzen Planeten ergriffen. Es hat Wüsten in Felder und Savannen in Wüsten verwandelt.

Sein Einfluß reicht bis in die Tiefseegräben und die Stratosphäre. In den letzten Jahrzehnten schließlich hat das sanft pulsende Nervenbündel im Menschenschädel die Fähigkeit erlangt, alles Leben auf der Erde zu vernichten.

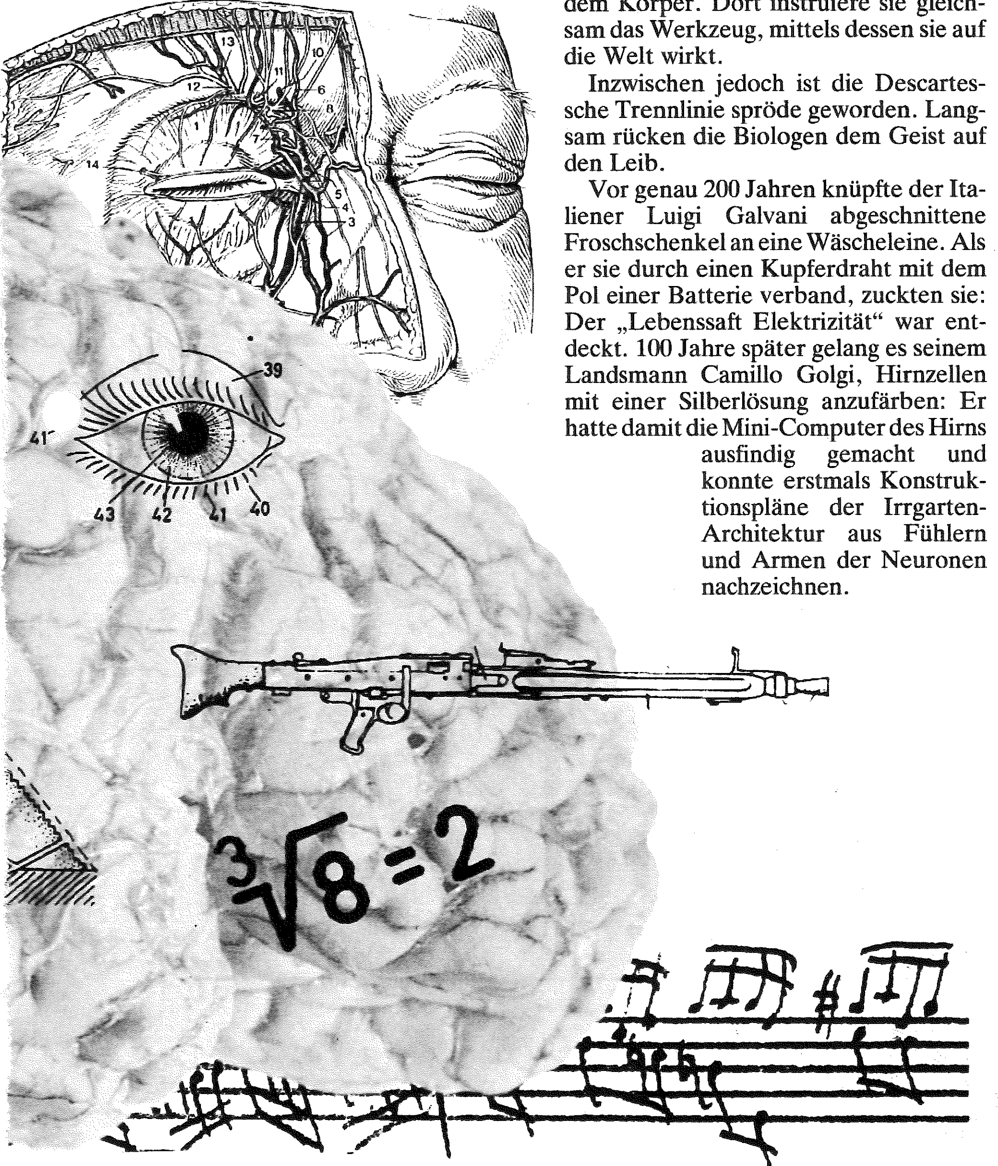
Dem Encephalon – „dem im Kopf Befindlichen" –, wie der medizinische Fachausdruck für das Gehirn lautet, entströmt ein immaterielles Fluidum, welches das ganze Universum zu durchdringen vermag: die Gedanken. Mit ihnen ist das Hirn bis zu viele Lichtjahre entfernten Galaxien vorgedrungen, bis zum Anfang der Welt und ins Innerste der Materie, mit ihnen kann es das untergegangene Rom wieder auferstehen lassen, kann ins Gespräch mit Konfuzius, Jesus Christus oder John Lennon kommen und Gulliver oder Odysseus auf ihren Reisen ins Land von Riesen und Zwergen, Kyklopen und Sirenen begleiten.

Jahrhundertelang waren die Gedanken unumstrittenes Revier der Philosophen. Die Medizin hatte sich mit der Erforschung des Körpers zu begnügen. „Ich denke, also bin ich" – mit diesem Satz hatte Descartes die Grenzen zwischen Geist und Körper, Philosophie und Medizin abgesteckt.

„Ich bin eine Substanz, deren einziges Wesen darin besteht, zu denken", stellte der Franzose fasziniert fest. Dieses Ich, seine Seele, existiere folglich unabhängig vom Körper. In der winzigen Zirbeldrüse an der Hirnbasis, so wollte Descartes herausgefunden haben, tritt sie in Dialog mit dem Körper. Dort instruiere sie gleichsam das Werkzeug, mittels dessen sie auf die Welt wirkt.

Inzwischen jedoch ist die Descartessche Trennlinie spröde geworden. Langsam rücken die Biologen dem Geist auf den Leib.

Vor genau 200 Jahren knüpfte der Italiener Luigi Galvani abgeschnittene Froschschenkel an eine Wäscheleine. Als er sie durch einen Kupferdraht mit dem Pol einer Batterie verband, zuckten sie: Der „Lebenssaft Elektrizität" war entdeckt. 100 Jahre später gelang es seinem Landsmann Camillo Golgi, Hirnzellen mit einer Silberlösung anzufärben: Er hatte damit die Mini-Computer des Hirns ausfindig gemacht und konnte erstmals Konstruktionspläne der Irrgarten-Architektur aus Fühlern und Armen der Neuronen nachzeichnen.



Bald begannen die Hirnforscher, unter der Schädeldecke auch Fragmente dessen zu entdecken, was Descartes die immaterielle Seele genannt hatte. Es begann 1848 mit dem Mißgeschick des amerikanischen Eisenbahnarbeiters Phineas Gage, der versucht hatte, mit einer Eisenstange Schwarzpulver in einem Bohrloch festzustopfen. Der Stahl schlug Funken. Das Pulver explodierte. Wie ein Geschoß durchstieß die Stange den Kopf des Unglücklichen.

Gage überlebte. Zwölf Jahre tingelte er mit durchbohrtem Kopf – die Stange war einen Meter lang und vier Zentimeter dick – durch den Wilden Westen. Doch aus dem hilfsbereiten Mann war ein launischer, gemütsarmer Menschenverächter geworden. Einen Teil seiner Persönlichkeit, verborgen in den Windungen des Stirnhirns, hatte der Stahl ausgelöscht.

Stück für Stück förderten die Forscher die Fragmente der Seele aus dem Gewirr grauer Zellen zutage. Liebe und Haß glaubten sie im limbischen System aufgespürt zu haben, das Gedächtnis im Hippokampus, die Geilheit im Zwischenhirn. In der rechten Großhirnrinde vermuten sie Musik, räumliches Vorstellungsvermögen, aber auch die Depressionen. In der linken hingegen wollen sie Mathematik, Sprache und Intelligenz geortet haben.

Reicht diese Intelligenz aus, sich selbst zu entschlüsseln? Können Gedanken die biologischen Gesetze des Denkens erfassen?

Inzwischen haben auch Politiker und Geldgeber den hohen Rang solcher Fragestellungen erkannt. US-Präsident George Bush hat die neunziger Jahre offiziell zur „Dekade des Gehirns" ausgerufen. Unter Führung der japanischen Regierung wird derzeit ein milliardenschweres „Human Frontier Science Programme" angeschoben, ein Schwerpunkt ist die Hirnforschung. Und auch die deutsche Max-Planck-Gesellschaft räumt diesem Forschungsfeld Priorität ein; in acht Instituten wird am Gehirn experimentiert.

Aus den unterschiedlichsten Richtungen tasten sich die Forscher an „den letzten großen weißen Fleck auf unserem Planeten" heran, wie es der Frankfurter Hirnforscher Wolf Singer formulierte. Auf Hirnkongressen und Workshops von „Kognitionsforschern" kommen plötzlich Molekularbiologen und Informatiker miteinander ins Gespräch, Linguisten und Neurologen haben einander etwas zu sagen, und Psychologen und Physiologen verbünden sich auf einer großen interdisziplinären Entdeckungsreise.

Gentechniker fahnden nach den Molekülen der Erinnerung. Mit modernen Tomographen durchleuchten Mediziner das Hirn. Psychologen versuchen zu ergründen, wie Räumlichkeit oder optische Täuschungen im Kopf entstehen. Lingui-



Neurobiologin Monyer, Mikrotom: Fahndung nach den Ursachen des Wahns . . .

sten spekulieren, ob die Sprachen im Hirn fest verdrahtet sind. Und Computer lernen vom Hirn das Sehen, Riechen und Sprechen.

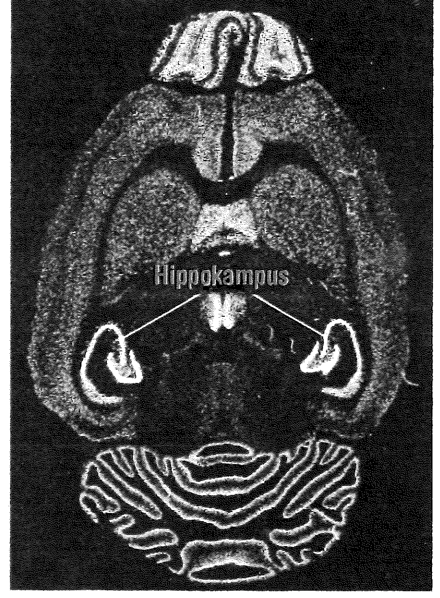
Gemeinsam stellen die Forscher die großen Fragen: Wie finden Bilder, Melodien oder Düfte ihren Weg in die graue Masse? Wo werden der Geruch von Rosmarin, der Gesang einer Nachtigall oder die Farben des Sonnenuntergangs konserviert? Wie setzen Eiweiße und Fette aus „gelb", „sauer", „krumpelig" und „fest" eine Zitrone zusammen? Und schließlich: Ist „Geist" nichts als ein Strom von Natrium- und Kaliumionen? Ist unser Hirn nichts als der Welt höchstentwickelter Computer?

Antworten scheinen vielen Wissenschaftlern in greifbarer Nähe. „In diesem Jahrhundert haben wir mittels Physik und Gentechnik Materie und Leben entschlüsselt", resümiert Heinrich Betz vom Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung. „Nun wollen wir lernen, wie der Geist funktioniert."

Unterstützt wird er von einem, dem es schon einmal gelang, dem Leben eines seiner erregendsten Geheimnisse zu entreißen: Auch Nobelpreisträger Francis Crick, der 1953 gemeinsam mit James Watson die Struktur der Doppelhelix aufklärte, die den genetischen Kode enthält, ist jetzt den Rätseln des Hirns auf der Spur. Sein Credo: „Die Zeit ist reif, das Bewußtsein auf neuronaler Basis in Angriff zu nehmen."

★

Die Gehirne epileptischer Ratten kommen per Luftfracht, tiefgefroren, wie jedesmal. Peter Seeburg und Hannah Monyer, die beiden Wissenschaftler am Heidelberger Zentrum für Molekulare Biologie, haben die Sendung schon erwartet: In jedem dieser pflaumengroßen grauen Eisklötze ist gleichsam ein Rattenleben gespeichert.



Rattenhirn im Schnitt*
. . . im Labyrinth der Nervenzellen

Sofort macht sich Hannah Monyer auf die Reise ins Rattengedächtnis. Mit dem Mikrotom, einer Art Präzisionswurstmesser in einer Gefriertruhe, schabt sie von dem Gewebeklumpen Scheiben herunter, jede ein hundertstel Millimeter dick.

Dann durchstreift die Neurobiologin mit dem Mikroskop diese Schnitte der Rattenpersönlichkeit: „Hinten, im Kleinhirn, werden Feinmotorik und Gleichgewicht gesteuert", erklärt sie. „In der Großhirnrinde sieht und hört die Ratte. Und hier, im limbischen System, sitzen die Gefühle."

Schließlich gilt ihre ganze Aufmerksamkeit nur noch den zwei Nervenwürmchen, die sich zwischen Groß- und Zwischenhirn winden. „Das ist das Relais, durch das die Erinnerungen fließen", erläutert Hannah Monyer. Hier, im sogenannten Hippokampus, sucht sie nach den Ursachen für das Zellsterben nach einem Hirnschlag oder nach epileptischen Anfällen.

Auch die 1000fache Vergrößerung des Mikroskops gibt noch keine Vorstellung von dem komplexen Zellgeflecht in den beiden kaum einen halben Zentimeter langen Nervenbündeln. Hier plauderten rund zehn Millionen Neuronen an mehr als einer Milliarde Schaltstellen, sogenannten Synapsen, miteinander; unentwegt schossen elektrische Pulse die fettigen Fasern hinauf und hinunter, öffneten sich Ventile für chemische Botenstoffe oder schlossen sich elektrische Schleusentore – bis der Plausch der Rattennerven schockgefroren wurde.

Hannah Monyer interessiert sich für sogenannte Glutamat-Rezeptoren. Als Spürhunde schickt sie radioaktive Antikörper oder kleine Erbgutschnipsel auf die Suche nach diesen molekularen Schleusen in der Membran der Hippokampus-Zellen. Indem der Botenstoff Glutamat an diese Moleküle andockt, so glauben die Molekularbiologen, fräst er gleichsam die Erinnerung in die molekularen Strukturen der Zielzelle.

Bei einem epileptischen Anfall wird der Hippokampus von elektrischen Erregungsschauern heimgesucht und dabei mit Glutamat überschüttet; bei einem Schlaganfall leeren die erstickenden Nervenzellen panikartig ihre Glutamat-Depots. Wie ein Übermaß an Säure eine Radierungsplatte verätzt, so zerstört die Überflutung mit Botenstoff das Zellgeäst, auf dem das Gedächtnis eingeritzt ist.

Nach den Spuren dieser Glutamat-Vergiftung sucht Hannah Monyer in den Rattenhirnen aus Lund in Schweden. Dort wurde den Tieren vor ihrem Tod die Halsschlagader abgeklemmt, oder sie wurden mit Elektroden zu epileptischen Anfällen gereizt.

Die Neurobiologin ist überzeugt: Erst wenn die Grammatik der Neuronensprache verstanden ist, wird die Heilung von Krankheiten wie Epilepsie oder Schizophrenie möglich sein. Und auch das Phänomen des Gedächtnisses ist im chemischen Small talk an den Synapsen verborgen.

Ihre Doktorarbeit hat die deutschrumänische Ärztin über den Eifersuchtswahn in Prousts Romanwerk geschrieben. Um anschließend in der Kinderpsychiatrie arbeiten zu können, hat sie

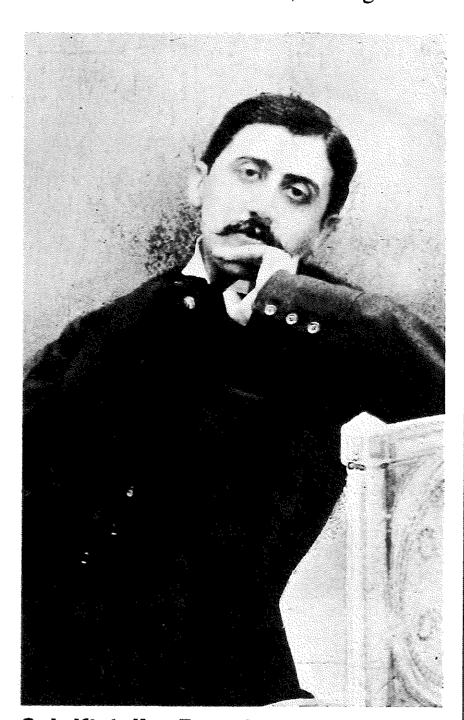
* Radioaktiv eingefärbter Mikrotom-Schnitt, ein hundertstel Millimeter dick.

eine Ausbildung als Psychotherapeutin gemacht.

„Aber dann habe ich gemerkt, daß es etwas anderes ist, wenn Sie wirklich einen Patienten mit einer Wahnvorstellung vor sich haben", erzählt sie. „Literatur oder Psychotherapie allein helfen da nicht weiter."

Statt dessen führte sie die Suche nach den Ursachen psychischer Krankheiten ins Labyrinth der Nervenzellen, bis an deren Schaltstellen, die Synapsen. In Heidelberg, der Hochburg der deutschen Genszene, fand sie das ideale Klima, um nach jenen Molekülen zu fahnden, die psychische Krankheit, Erinnerung und Bewußtsein bilden.

In der alten Gelehrtenstadt am Neckar erforschen Mediziner, Biologen und



Schriftsteller Proust
Gedächtnisschauer vom Teegebäck

Gentechniker an zwei Max-Planck-Instituten, der Universität, dem Europäischen Molekularbiologischen Labor und am Deutschen Krebsforschungszentrum die molekularen Geheimnisse des Gehirns. Hannah Monyer entschied sich für das Labor von Peter Seeburg. Dort tauschte sie ihre Schizophrenie-Patienten gegen Schnitte von Rattenhirnen und den Proustschen Eifersuchtswahn gegen Glutamat-Rezeptoren.

Dennoch will sie nichts davon wissen, daß diese neue Welt mechanistisch sei: „Viele behaupten, daß wir die Welt entmystifizieren, wenn wir versuchen, sie molekular zu erklären. Aber ist es nicht im Gegenteil noch viel faszinierender, daß zum Beispiel die Handlung eines ganzen Proustschen Romans durch die Reizung von ein paar Geruchsrezeptoren hervorgerufen wird?"

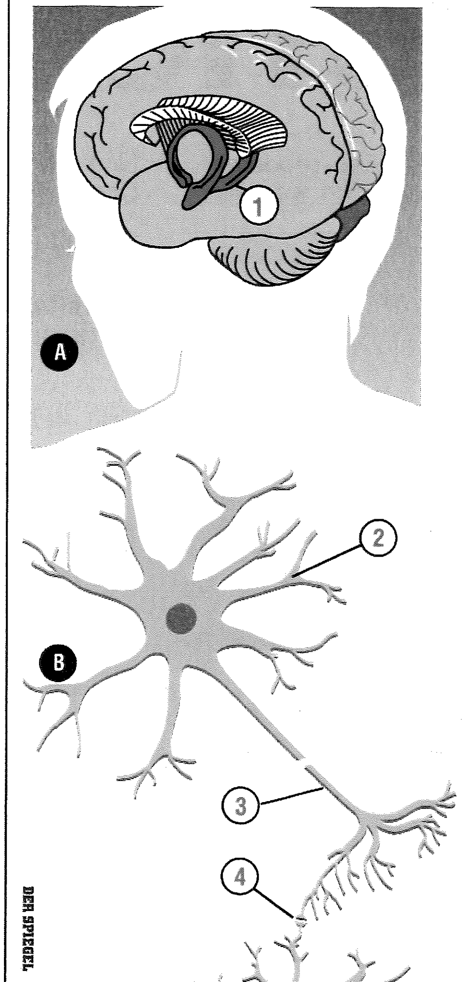
PFORTEN DER ERINNERUNG

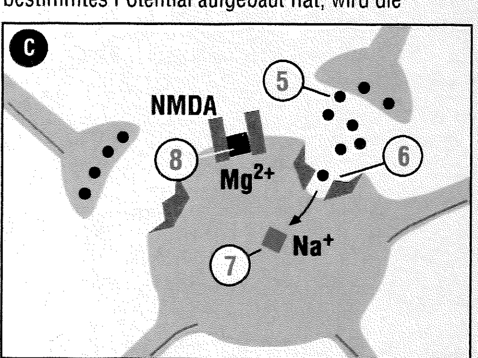
Wie das Gedächtnis funktioniert

A. Unter der Großhirnrinde liegt der Hippokampus (1). Durch diese wurmartige Hirnstruktur werden Wahrnehmungen geschleust, die im Gedächtnis gespeichert werden sollen.

B. Jede Nervenzelle besteht aus einem vielarmig ausfasernden Zellkörper (2). Die von der Nervenzelle ausgesendeten elektrischen Impulse laufen über das sogenannte Axon (3), einen weitreichenden Zellarm, der sich bis in entfernte Hirnregionen erstrecken kann. Am Ziel verzweigt sich das Axon und bildet, an den sogenannten Synapsen (4), Kontakte mit Tausenden anderer Nervenzellen.

C. Wird eine Zelle erregt, läuft ein elektrischer Impuls durch das Axon bis zu den Synapsen und bewirkt dort die Ausschüttung des Botenstoffs Glutamat (4). Die Glutamat-Moleküle schwimmen zur Zielzelle und heften sich dort an molekulare Tore in der Zellmembran (6). Daraufhin öffnen sich diese Tore und lassen elektrisch geladene Natriumteilchen in die Zelle strömen (7). Wenn der einfließende Strom ein bestimmtes Potential aufgebaut hat, wird die





In seinem siebenteiligen Romanzyklus „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit" schildert Proust, wie ein ovales Sandtörtchen, ein Kuchengebäck mit dem Namen „Madeleine", vermischt mit dem Geschmack von Tee, im Bewußtsein des Erzählers einen unwillkürlichen Schauer auslöst. Ein zweiter Schluck Tee, einige weitere Kuchenkrümel, und ein Reigen zerstückelter Visionen aus der Vergangenheit regt sich in seinem Gedächtnis. Der Geruch des Lindenblütentees wird zur Gedächtnisleitung in den Ort seiner Kindheit. Das Teegebäck öffnet das Siel der Erinnerung, aus dem 4000 Seiten lang Vergangenheit fließt.

Aber von wo steigt plötzlich die verlorene Zeit wieder auf? Ist sie irgendwo ins Hirn graviert? Und wie läßt sie sich wieder zum Leben erwecken?

Einen ersten Schlüssel zur Antwort dieser Fragen lieferte, schon vor drei Jahrzehnten, ein Luftwaffenrekrut aus San Diego, der im Schlafraum mit seinen Stubengenossen fechten übte. Er drehte sich um, gerade, als sein Gegner einen Ausfall machte. Das Florett traf ihn, drang ihm durch die Nase und geriet ins Hirn.

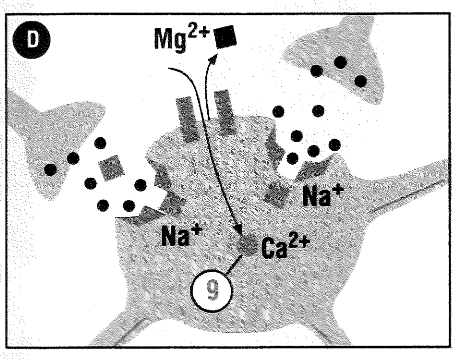
Für „N. A." – unter diesem Namen ging der Rekrut in die Geschichte der Hirnforschung ein – steht seither die Zeit still. Noch immer glaubt er sich im Jahre 1960, seine Sätze sind gespickt vom Slang der ausgehenden fünfziger Jahre, nach wie vor lebt und denkt er in der Welt von Elvis Presley und Präsident Eisenhower.

N. A. vegetiert in einer zeitlosen Welt dahin. Er weiß nicht mehr, wo er wohnt oder wer sich um ihn kümmert; er erkennt das Haus nicht, in dem er seit vielen Jahren lebt, und jedesmal, wenn ein Werbespot das Fernsehprogramm unterbricht, verliert er den Zusammenhang. Nur die Erinnerungen bis zu dem Unglück sind ihm erhalten geblieben.

Der Degen hat eine kleine Hirnstruktur durchstoßen, die seither als Relais des Gedächtnisses gilt: eben jene Gewebewürmer, in denen Hannah Monyer nach Glutamat-Rezeptoren sucht. Jede Information scheint den Hippokampus passieren zu müssen, ehe sie dauerhaft im Gedächtnis abgespeichert wird.

Seit dieser Entdeckung suchen die Hirnforscher an den Synapsen des Hippokampus nach den Molekülen der Erinnerung. Deshalb war die Aufregung

Zielzelle erregt und sendet ihrerseits einen Spannungsimpuls durch ihr Axon.
D. Beim Abspeichern von Gedächtnisinhalten im Hippokampus werden die elektrischen Schwellenwerte mit Hilfe eines zweiten Tor-Systems verändert. Bestimmte Kanäle in der Zellmembran, sogenannte NMDA-Rezeptoren, bleiben zunächst durch Magnesium verstopft (8).
Erst wenn mehrere Synapsen gleichzeitig angeregt werden und auf diese Weise sehr viel Natrium in die Zelle strömt, springt das Magnesium aus den Poren und läßt Kalzium in die Zelle fließen (9).
Das Kalzium löst, als Steuersubstanz im Innern der Zelle, eine Kaskade von Prozessen aus, die dazu führen, daß der elektrische Schwellenwert d[illegible]haft gesenkt wird. Dadurch werden spätere Aktivierungen – wenn der Mensch sich erinnert – erleichtert.
Die Forscher vermuten darin den grundlegenden Mechanismus für die Speicherung von Gedächtnisinhalten.



unter den Hirnforschern groß, als 1983 der sogenannte NMDA-Rezeptor gefunden wurde, ein Glutamat-Rezeptor, der genau die erhofften Eigenschaften hatte: Er ist gleichsam ein Schleusentor in der Zellmembran, das um so besser funktioniert, je häufiger es benutzt wird (siehe Grafik).

Damit schien eine Möglichkeit gefunden, das Gedächtnis zu erklären: Die Erinnerung ebnet sich gleichsam selbst die Bahnen, entlang derer sie später wieder wachgerufen wird.

Überall auf der Welt stürzten sich Forscher auf das röhrenartige Molekül in der Membran der Hippokampus-Zellen. „Unglaublich, wie speziell die Fragen der Molekularbiologie geworden sind“, meint dazu der Leiter der Heidelberger Forschergruppe Peter Seeburg. „Da kann man berühmt werden, obwohl man sich nur mit einem einzigen Molekül beschäftigt.“

Seeburg gehört, wie die Zeitschrift *Science* formulierte, als meistzitierter deutscher Forscher zur wissenschaftlichen Crème de la crème. Trotzdem mußte er gerade eine Niederlage auf der Jagd nach dem molekularen Substrat der Erinnerung einstecken: Eine japanische Gruppe war schneller mit der gentechnischen Herstellung des begehrten NMDA-Rezeptors.

Schon längst ist aus dem einen Glutamat-Rezeptor eine ganze Familie geworden. „Heute wissen wir, daß es mindestens zehn Unterarten davon gibt“, sagt Seeburg. „Und wahrscheinlich werden wir noch mehr finden.“

Heute scheint es ihm erstaunlich, daß die Neurobiologen einmal glauben konnten, daß sich das Gedächtnis mit einigen wenigen Molekülen würde erklären lassen. Beseelt vom Glauben an ein molekulares Alphabet des Gedächtnisses, hatten sie lange verdrängt, daß rund ein Drittel aller Gene für Hirnfunktionen benötigt werden. Allein 1000 verschiedene Geruchsrezeptoren sind mittlerweile bekannt.

Trotzdem hofft Seeburg ein Prinzip in diesem Chaos gefunden zu haben: Er entdeckte, daß sich einige der Glutamat-Rezeptoren nur in kleinen Untereinheiten voneinander unterscheiden.

Könnte es sein, so spekuliert er, daß Hirnzellen ihre Rezeptoren umbauen? Daß die Moleküle in der Zellmembran gleichsam Baukästen sind und die Zellen die elektrischen Ströme durch ihre Membran steuern, indem sie molekulare Module austauschen? Vielleicht speichern die Zellen so einen Teil ihrer Erinnerungen?

Hilfe bei der Antwort auf diese Fragen bekommt Seeburg von nebenan. Dort, im Max-Planck-Institut für Medizinische Forschung, sitzen die Elektroniker des Gedächtnisses. Bert Sakmann entwickelte eine Technik, mit der er die winzigen Strompulse durch die Zellmembran messen und damit gleichsam die elektronischen Bauteile der Neuronen einzeln testen kann – eine Methode, für die er im letzten Jahr den Nobelpreis für Medizin erhielt (SPIEGEL 42/1991).



Molekularbiologe Seeburg
Medikamente, die den Zelltod stoppen?

Gemeinsam versuchen die Heidelberger Forscher jetzt, die Zelle beim Austausch der Kanäle zu beobachten. „Wenn wir die molekulare Wirkungsweise der Kanäle erst verstanden haben“, hofft Seeburg, „können wir sie vielleicht auch beeinflussen.“ Ziel ist ein Medikament, daß den Zelltod nach einem Hirnschlag oder nach epileptischen Anfällen stoppen würde. Seine Hoffnung setzt er auf das „therapeutische Fenster“: Erst zwölf Stunden nach der Überschwemmung mit Glutamat beginnt das massenhafte Zellsterben im Hirn. „Während dieser Zeit müssen wir eingreifen“, so spekuliert er, „dann wären die Ärzte bei einer der häufigsten Todesursachen nicht mehr so völlig hilflos wie bisher.“



Die ersten 48 Jahre seines Lebens war Boswell das Musterbild eines Durchschnittsamerikaners, wie aus einem Theaterstück von Arthur Miller. Er hatte alles, was ihm als Garant des Glücks galt: ein Haus im Mittleren Westen, eine Stelle in der Anzeigenabteilung einer Zeitung, eine Frau und zwei Kinder, denen er das College zahlte.

An all das erinnert er sich nicht mehr. 17 Jahre ist es her, daß ihn ein plötzliches Fieber befiel. Krämpfe schüttelten ihn, er phantasierte, bis er schließlich in tiefes Koma fiel.

Drei Tage später erwachte er, umgeben von einem Graben des Vergessens. Die Hirnhautentzündung hatte ihn seiner Vergangenheit beraubt; seither ist er verbannt auf die Inseln des Augenblicks, die immer aufs neue nach 40 Sekunden im Ozean der Zeit versinken. Er ist noch schlimmer dran als der bedauernswerte Rekrut N. A.: Bei ihm gibt es nicht einmal eine Brücke der Erinnerung zurück in seine Jugend.

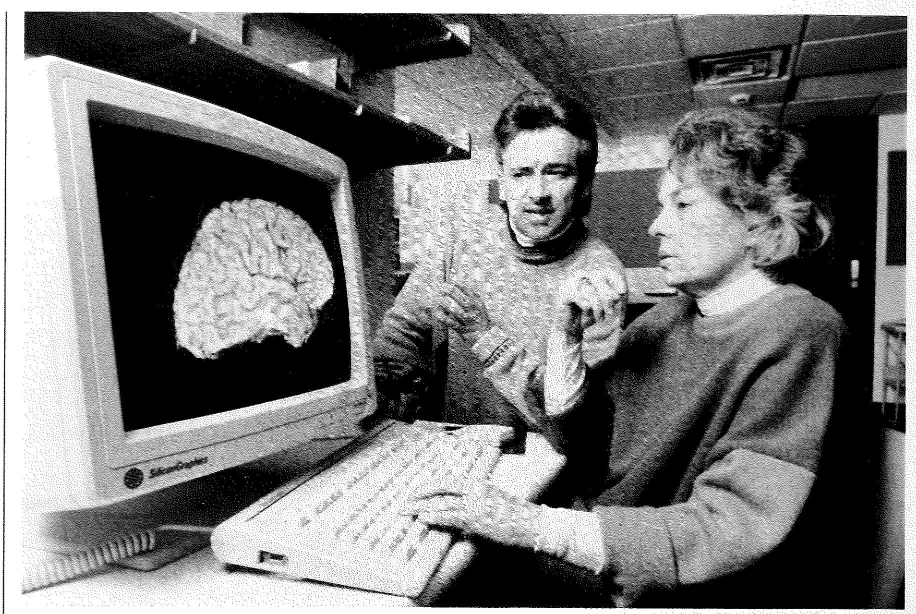
Willkürlich rät Boswell Jahreszahl oder Heimatstadt. Auf das Foto seiner Frau blickt er ebenso ratlos wie auf das seiner Eltern. „Ein Mann Anfang 60, mit dunklen Haaren. Aber ich glaube nicht, daß ich ihn schon einmal gesehen habe“, beschreibt er ein Foto seiner selbst.

Für den Neurologen Antonio Damasio ist Boswell, wie jeder

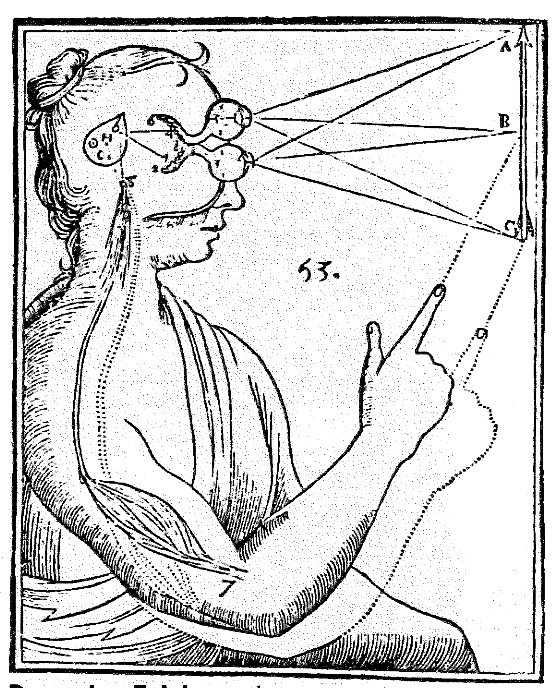
seiner Patienten, eine Expedition in die Welt unter der Schädeldecke. „Und das ist unsere Landkarte“, sagt er und zeigt auf den Computerschirm, auf dem ein gefurchtes, lappiges Organ kreist – ein millimetergenaues Abbild von Boswells Gehirn, rekonstruiert aus einem Wust von Daten, die ein Kernspintomograph geliefert hat.

„Die Krankheit hat nicht nur den Hippokampus zerstört“, erklärt Damasio und weist auf einen großen schwarzen Fleck am unteren Hirnrand, etwas oberhalb der Stelle, an der Boswells Ohr sitzt. „Auch große Teile des Schläfenlappens sind kaputt.“

Boswell lebt – obwohl die Viren ein faustgroßes Loch in seine Großhirnrinde gefressen haben, also gerade dort, wo einige Hirnforscher bereits den Sitz des Bewußtseins geortet haben wollten. „Und Boswell hat ein Bewußtsein genau wie Sie und ich“, betont Damasio.



Forscher-Ehepaar Damasio*: Ein Gruselkabinett von Verhaltensgestörten



Descartes-Zeichnung*
Durch fünf Portale dringt die Welt ins Hirn

Bewußtsein, so seine Überzeugung, ist nicht an einer bestimmten Stelle im Hirn verborgen. Wer das Denken verstehen oder das Bewußtsein finden will, muß nach dem Kitt suchen, der Sehen und Riechen, Erinnern und Fühlen, Handeln und Entscheiden zusammenhält.

Seit 150 Jahren fahnden die Hirnforscher in den grauen Windungen unter der Schädeldecke nach den Fragmenten dessen, was der Mensch als „Ich“ bezeichnet. Schon damals entdeckten sie, daß Patienten mit Schäden im linken Schläfenbereich zwar redegewandt daherfabulierten, doch der Wortschwall ergab nichts als Unsinn.

Lag die Verletzung jedoch etwas weiter vorn, so konnte der Patient nur noch mühsam radebrechen, dafür hatte sein Gestammel einen klaren Sinn: Das Sprachverständnis, so folgerten die Ärzte, mußte im linken Schläfenlappen, die Spracherzeugung hingegen im linken Stirnlappen versteckt sein.

Bald hatten die Hirnanatomen auf diese Weise ganze Seelenatlanten entworfen. Unterstützt wurden sie von dem kanadischen Chirurgen Wilder Penfield, der Epileptiker bei vollem Bewußtsein operierte. Dabei stellte er fest, daß er seine Patienten wie Marionetten steuern konnte: Bei elektrischen Reizungen am Scheitel bewegten sie unvermittelt Finger, Hände oder Beine. Kitzelte er dagegen die rechte Schläfe, so hörten die Patienten plötzlich Melodien, bei Reizung wieder anderer Hirnregionen sahen sie Lichtreflexe, Bilder oder ganze Szenen, oder sie berichteten von berauschenden Glücksgefühlen.

Doch es zeigten sich auch die Grenzen dieser Seelen-Anatomie. Je weiter sich die Forscher in Richtung Schläfen und Stirn vorantasteten, desto komplexer und verworrener wurden die Aufgaben, die offenbar hier verborgen lagen. Anscheinend hatten sie es hier mit Gefühlen, mit sozialem Verhalten und dem Charakter zu tun, hier schienen Pläne geschmiedet und Entscheidungen gefällt zu werden – doch klare Trennlinien zwischen diesen Funktionen waren kaum zu finden.

Lange Zeit kapitulierten die Neurologen vor der Kompliziertheit des Stirnhirns. Doch vor einigen Jahren nahmen Antonio Damasio und seine Frau Hanna die Tradition wieder auf, Patienten mit Hirnverletzungen sorgfältig zu untersuchen.

Ihre Vorgänger hatten die Gehirne ihrer Patienten stets erst nach deren Tod untersuchen können. Inzwischen erlaubt die Technik den Ärzten auch den Blick ins lebende Hirn. Mit dem Positronen-Emmissions-Tomographen (PET) kann Hanna Damasio ihren hirngeschädigten Patienten beim Denken zusehen und es mit dem Denken in einem gesunden Hirn direkt vergleichen: Dazu injiziert sie radioaktiven Zucker. Dieser wird vor allem in aktiven Zellen abgebaut. Dort sammelt sich deshalb Radioaktivität, die verrät, welche Teile des Hirns gerade arbeiten.

Die gewaltige PET-Apparatur steht in der Universitätsklinik von Iowa City. Dort, in einem 50 000-Einwohner-Städtchen inmitten von horizontweiten Maisfeldern, regiert das portugiesische Ehepaar die größte Neurologie-Station der Welt. „Tony sitzt dort wie eine Spinne im Netz“, sagt der Nobelpreisträger David Hubel über seinen Kollegen: Aus dem ganzen Bundesstaat Iowa kommen die Patienten nach Iowa City; die meisten von ihnen finden sich auch nach zehn Jahren noch zu Nachfolgeuntersuchungen ein.

Innerhalb von 16 Jahren stellten sich die Damasios das weltweit größte neurologische Gruselkabinett zusammen, eine Patienten-Kartei, in der sich alle

* Oben: mit der Computergrafik eines Patientengehirns; Mitte: nach Descartes' Vorstellung liefen alle Wahrnehmungen in der Zirbeldrüse zusammen. Dort vermutete er den Sitz der Seele, die Handlungsbefehle an den Körper gibt.

Arten von Verhaltensstörungen und Sprachausfällen, Sehfehlern und Gefühlsverwirrungen finden; jedem der mehr als 1500 Boswells hat ein Unfall, ein Schlaganfall, Viren oder ein Tumor ein Loch in die graue Substanz im Schädel gerissen.

Die Arbeit mit diesen Patienten hat den Damasios immer wieder bestätigt: Das Hirn besteht nicht nur aus Einzelkammern, in denen Geräusche, Licht, Sprache und Gefühle verarbeitet werden. Erst die Verbindung dieser Kammern läßt im Kopf ein Gesamtbild der Welt, Gedanken und Bewußtsein entstehen.

Durch fünf Sinnesportale dringt die Welt ins Hirn: als Licht oder Schall, Geruch, Geschmack oder Tastempfindung. Dann wird sie weiter zerlegt, in Farben, Formen und Bewegungen, in Lautstärken und Tonhöhen, in Wärme- und Härtegrade. „Und dennoch erleben wir die Welt als Ganzes. Sie ist für uns nicht zersplittert in ein Chaos von Eigenschaften", sagt Damasio. „Und eben das läßt sich nicht erklären, wenn wir uns das Hirn nur aufgeteilt in Schubladen vorstellen."

Die Schubladen sind nach Damasios Vorstellung durch Konvergenzzonen verknüpft, Nervenknäuel, von denen er annimmt, daß sie verstreut im ganzen Hirn liegen müssen. Dort laufen die Nervenstränge der Sinne zusammen. Andere Konvergenzzonen verknüpfen „Apfel", „Banane" und „Zitrone" zu „Obst", verbinden die Buchstaben „B", „A", „L" und „L" zu „Ball" oder kombinieren beim Wiedererkennen eines Freundes die visuelle Information der Augen mit der Erinnerung an Gesichter.

Die Defekte seiner Patienten erklärt Damasio mit der Zerstörung derartiger Konvergenzzonen. „Boswell zum Beispiel", erläutert er, „hat die Fähigkeit verloren, sein abstraktes Wissen über die Welt mit seinen Erinnerungen zu verknüpfen. Er weiß zum Beispiel noch, daß er gern ins Kino geht, aber er kann sich an keinen einzigen Film erinnern."

Um seine Theorie zu beweisen, ersann Damasio Experimente, mit denen er das Gedächtnis von Boswells Gefühlen messen wollte: Er zeigte seinem Patienten Fotos von Pflegern, die sich zuvor besonders um ihn gekümmert oder die ihn bewußt geärgert hatten. Tatsächlich zeigte sich ein Echo der Vergangenheit in Boswells Gefühlen: Wer ihn freundlich behandelt hatte, dessen Foto beurteilte er später als sympathisch. Hatte ihn jemand gestört, so fand Boswell sein Gesicht hinterher abstoßend – obwohl er natürlich bestritt, diese Menschen je zuvor gesehen zu haben.

Das war genau, was Damasio erwartet hatte. Denn Boswells Hirnnarbe liegt hinter der Schläfe. Die Verknüpfung der Gefühle mit den Wahrnehmungen jedoch vermutet Damasio hinter der Stirn.

Und sofort beginnt er von einem anderen Patienten zu erzählen. E.V.R. – unter diesen Initialen steht er in Damasios Patienten-Katalog – war erfolgreicher Wirtschaftsprüfer, bis eine Krebsoperation sein Leben zerstörte: Die Chirurgen hatten einen Tumor in der Nähe seiner Augenhöhle entfernt und dabei auch Teile des Stirnhirns herausschneiden müssen.

Noch immer ist E.V.R. ungewöhnlich intelligent. Weder seine Erinnerung noch seine Wahrnehmung waren im geringsten beeinträchtigt, und dennoch bezweifeln seine Freunde, daß sie überhaupt noch denselben Menschen vor sich haben. Plötzlich war E.V.R. unzuverlässig und unberechenbar. Seinen Beruf mußte er aufgeben, zwei Ehen gingen nacheinander in die Brüche, und sein Vermögen hatte er in kürzester Zeit verspekuliert.

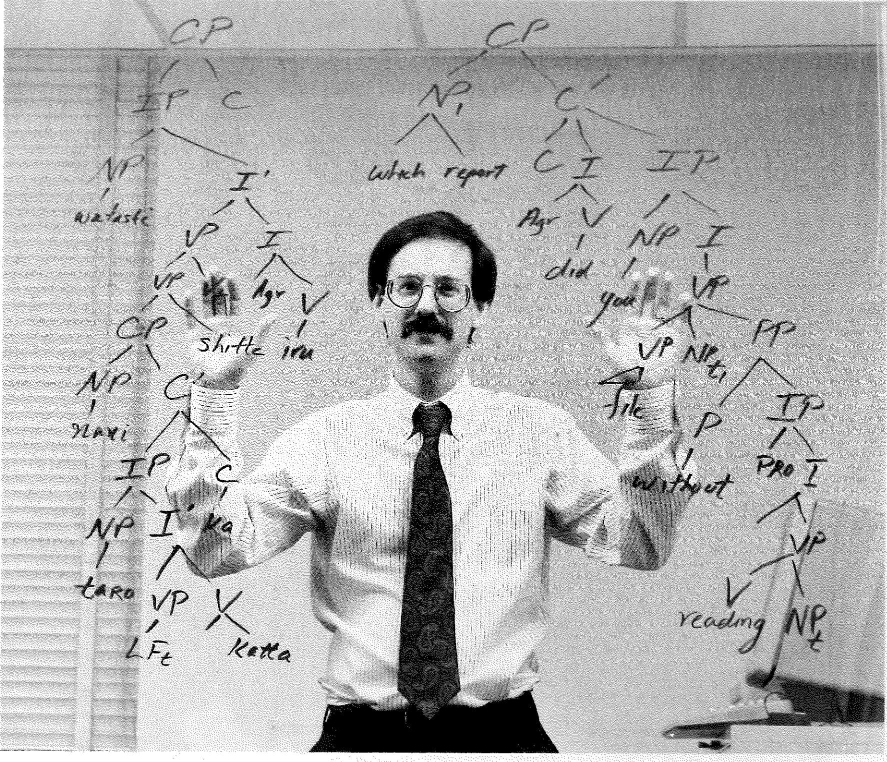
„Er kann sich nicht mehr entscheiden", erzählt Damasio. „Und wenn er es tut, kommt meist etwas Selbstzerstörerisches dabei heraus." Auch dafür hat Damasio eine Erklärung: „Die Chirurgen haben die Konvergenzzonen zerstört, in denen E.V.R. seine Wahrnehmungen mit seinen Gefühlen koppelte." Jetzt habe er den Kontakt zu dem Meßinstrument verloren, mit dessen Hilfe der Mensch seine Entscheidungen trifft: die Gefühle.

Auch das ließ sich in einem Versuch nachweisen. Dabei zeigte Damasio seinem Patienten Bilder von Landschaften, Küchengeräten oder Autos. Dazwischen mischte er gräßliche Szenen von Kriegsverstümmelten. Während E.V.R. die Bilder betrachtete, sollte ein Lügendetektor seine Gefühlsreaktionen messen.

Bei allen gesunden Vergleichspersonen hatte das Gerät heftig ausgeschlagen, sobald die Verwundeten auf dem Bildschirm erschienen. E.V.R. jedoch konnte die Bilder nur beschreiben. „Ein



Patient bei PET-Untersuchung: Mit radioaktivem Zucker beim Denken beobachtet



Sprachforscher Berwick, Sprachbaum: „Wie lernt ein Blinder, was ‚gelb' ist?"

gräßliches Foto. Ich müßte jetzt wohl erschüttert sein", sagte er.

Das Gerät jedoch, das seine Gefühlsregung hätte melden sollen, blieb stumm.

★

Ist das nicht Wahnsinn: Taube können sprechen lernen, und das manchmal sogar dann, wenn sie zusätzlich auch noch blind sind. Es reicht, daß sie den Kehlkopf anderer Menschen abtasten." Mit hastigen Sätzen redet sich Robert Berwick in Erregung.

Denn solche Anekdoten bestärken den Computer-Wissenschaftler am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in seiner Überzeugung: Die Sprache ist dem Menschen in die Wiege gelegt. Ein Kind lernt nicht sprechen – die Sprache wächst ihm wie Arme und Beine. „Wie sollte ein Blinder lernen, was ‚sehen', was ‚Licht' und was ‚gelb' ist? Auf irgendeine Weise muß er dieses Wissen schon mit auf die Welt bringen", versichert Berwick.

Dann kramt er aus den Bergen von Zetteln, Computerausdrucken und Zeitschriften auf dem Boden seines Büros einen Artikel aus der Zeitschrift *Science* hervor. Die Autoren behaupten das Gen für einen Sprachfehler gefunden zu haben, bei dem die Pluralbildung gestört ist. Das Gen für den Plural – eine faszinierende Vorstellung für Berwick.

Sein ehrgeiziges Ziel ist ein Programm, das Englisch in Fremdsprachen übersetzt, egal ob Russisch, Deutsch, Japanisch oder Arabisch. „Die Voraussetzung dazu ist, daß wir die Sprachstruktur aufdecken, wie sie im Hirn verdrahtet ist", erklärt er. „Dann müssen wir diese Urgrammatik nur noch auf dem Computer programmieren."

Mit seinem Vorhaben gehört Berwick zu den Übriggebliebenen aus optimistischeren Zeiten. Ehedem gab es hier in Boston viele, die glaubten den Geheimnissen der Sprache auf der Spur zu sein. Schließlich ist das Labor am Bostoner Technology Square die Geburtsstätte der Wissenschaft von der Künstlichen Intelligenz (KI).

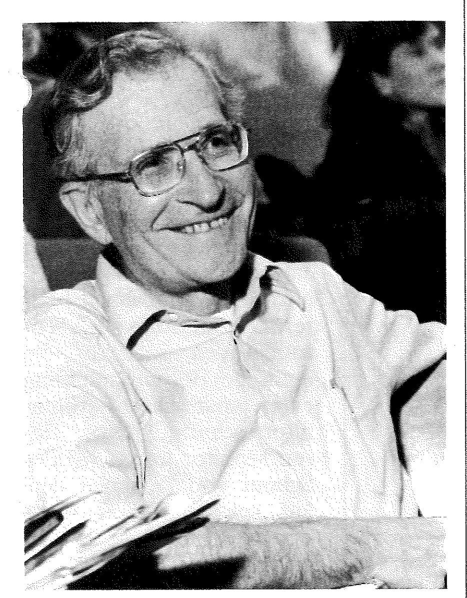
Für ihre Anhänger gilt der Glaubenssatz: Das Hirn ist ein Computer; Bewußtsein, Intelligenz, Gefühle und Sprache sind nichts als Programme, die ein Hacker namens Evolution im Laufe von Jahrmillionen zusammengestückelt hat. Warum also sollte es menschlichen Programmierern nicht möglich sein, es dem natürlichen Vorbild gleichzutun?

Mittlerweile haben die meisten der Propagandisten der Künstlichen Intelligenz solche anmaßenden Visionen der Aufbruchszeit zurückgeschnitten. Zwar hängt noch immer die Warnung an ihren Bürotüren: „Sag niemals nie!" Aber sie lächeln milde, wenn KI-Vater Marvin Minsky von zukünftigen Computergenerationen spricht, die so intelligent sein werden, „daß wir froh sein können, wenn sie uns noch als Haustiere halten".

Viele von Minskys Jüngern haben die Jeans gegen Krawatte und Anzug getauscht und ihre eigene Firma aufgemacht. Dort befassen sie sich mit praktischen Problemen wie Robotersteuerung

und Bildverarbeitung. Den alten Traum von denkenden Computern haben sie auf eine ungewisse Zukunft vertagt. Fast alle Computercracks meiden jenes berüchtigt unberechenbare Terrain, das als Inbegriff des Menschlichen, als edelste Fähigkeit des Gehirns und Voraussetzung des Denkens gilt: die Sprache.

Dabei hatten in den fünfziger Jahren viele KI-Forscher den Durchbruch schon greifbar nahe geglaubt. Schon im Krieg hatten englische Computerwissenschaftler ihre Fähigkeiten beim Knacken der Kodes deutscher Militärs bewiesen. Jetzt, so verkündeten die Urväter der neuen Wissenschaft von der Künstlichen Intelligenz, sei es nicht mehr weit, bis die Computer auch Fremdsprachen zu beherrschen lernten. Deutsch, Russisch oder Chinesisch seien schließlich auch nichts anderes als raffinierte Kodes, vergleichbar den Textverschlüsselungen im Zweiten Weltkrieg. Die Versprechungen der KI-Gläubigen waren dem amerikanischen Verteidigungsministerium damals viele Millionen Dollar wert.



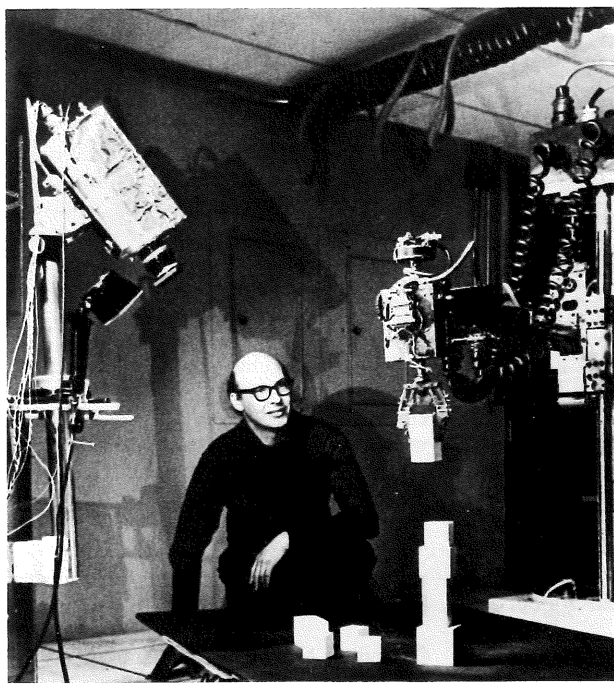
Sprachforscher Chomsky
„Wir können froh sein . . .

Der Geldregen versickerte. Schnell waren die Forscher in scheinbar einfache Fragen verstrickt, die ihnen erst zeigten, wie vermessen ihr Traum vom Übersetzungscomputer gewesen war. Schon die Grammatik-Programme versagten, weil es ihnen an Sprachverständnis fehlte: Wie sollten sie „Katzen fressen Vögel“ von „Körner fressen Vögel“ unterscheiden?

Noch kläglicher scheiterten die Bemühungen, den Computer das Hören zu lehren. Schon Anfang der fünfziger Jahre hatten sie einer Maschine die Fähigkeit beigebracht, das Wort „Watermelon“ (Wassermelone) aus Hunderten anderer Worte herauszuhören. Jetzt, so versprachen die KI-Forscher, gelte es nur noch, 10 000 dieser Wort-Maschinen zusammenzuschalten, und der Computer werde Englisch verstehen.

40 Jahre später ist der Wortschatz selbst der kompliziertesten Nachfahren der „Watermelon-Box“ noch immer auf nur wenige Sätze begrenzt. Was darüber hinausgeht, verschmilzt für den Computer zu bedeutungslosem Rauschen.

Ein Satz ist mehr als die Summe seiner Wörter, und Hören endet nicht am Ohr: Je länger sie sich mit der menschlichen Sprache befaßten, desto klarer mußten die Forscher erkennen, wie naiv ihre Vorstellung gewesen war, Sprache bestehe aus Lauten, die sich wie Morsezeichen zu Buchstaben, Wörtern und Sätzen zusammenfügen.



Intelligenzforscher Minsky
. . . wenn die Computer uns noch als Haustiere halten“

Statt dessen hatten sie es mit einem eng verwobenen Netzwerk aus Lauten, Struktur und Bedeutung zu tun. Verstehen erwies sich eher als Erraten oder Erahnen von Worten in einem komplizierten Zusammenspiel von Augen und Ohren, Erinnerungen und Erwartungen, Erfahrungen und Gefühlen. All seine Fähigkeiten mobilisiert das Gehirn, besessen davon, dem Stimmbänder-Geknat-

ter des Gesprächspartners einen Sinn zu geben.

Längst ehe ein Wort das Trommelfell erreicht, hat das Hirn schon Vermutungen angestellt, wie der begonnene Satz enden könnte. In Sekundenbruchteilen vergleicht es diese Erwartungen mit dem Gehörten, mit Lippenbewegung und Mimik des Gegenübers. Blitzschnell testet es genuschelte Endungen auf grammatische Richtigkeit, prüft Sätze auf Logik und Sinn, wägt verschiedene Bedeutungen gegeneinander ab.

Der Laut „bar" läßt die Assoziation einer Theke aufblitzen, gleichzeitig flakkert das Bild von Geldscheinen hervor, und die Bedeutung „ohne" wird probeweise in die Satzstruktur eingepaßt – und schließlich ist das Hirn auch noch bereit, wenn alle drei Versuche versagen, einen verschluckten „Bart" in dem Laut zu erkennen. Im Bewußtsein erscheint nur das Ergebnis vom Ausprobieren und Raten, Testen und Beratschlagen der Sinne.

Nach 40 Jahren Sprachforschung ist den Wissenschaftlern am MIT vor allem Respekt vor dem verwobenen Wunder Sprache geblieben – und Spott über die Naivität der Aufbruchsjahre. Ein Computer, lautet ein vielzitierter Witz, werde wohl nie lernen, ob das Sprichwort „Out of sight, out of mind" besser mit „blind und auch noch schwachsinnig" oder mit „unsichtbarer Idiot" zu übersetzen sei.

KI-Forscher Berwick läßt sich seinen Optimismus von solchem Spott nicht nehmen. „Sprache ist nicht so kompliziert, wie sie uns jetzt erscheint." Trotz aller Rückschläge ist er davon nach wie vor überzeugt. „Es ist wie mit der Materie: So komplex sie auch ist – sie ist dennoch aus einfachen Atomen zusammengesetzt."

Genau daran, an der Kenntnis der Sprachatome, habe es seinen Vorgängern gemangelt. „Die haben den Computern Tausende von Regeln beigebracht", erklärt Berwick. „Das ist, wie wenn ein Chemiker Moleküle ordnet, ohne die Atome zu kennen. Erstens wird solch ein Regelwerk schnell völlig unübersichtlich. Zweitens kann es gar nicht vollständig sein, denn es finden sich immer noch Sätze, die nicht erfaßt sind. Und dann sind auch noch für jede Sprache ganz neue Regeln nötig."

Organ

A. der Gattenliebe, B. des Stolzes, C. des Begriffssinnes, D. der Anmuth, 1. der Geschlechtsliebe, 2. der Aelternliebe, 3. der Freundschaft, 4. der Heimatsliebe, 5. der Emsigkeit, 6. des Kampfsinnes, 7. des Zerstörungssinnes, 8. der Eßlust, 9. des Erwerbssinnes, 10. der Verschwiegenheit, 11. der Vorsicht, 12. des Ehrgeizes, 13. der Selbstachtung, 14. der Festigkeit, 15. der Gewissenhaftigkeit, 16. der Hoffnung, 17. der Gläubigkeit, 18. der Demuth, 19. der Gutmüthigkeit, 20. des Bausinnes, 21. des Idealitätssinnes, 22. des Nachahmungssinnes, 23. des Frohsinnes, 24. des Beobachtungssinnes, 25. des Formsinnes, 26. des Maßsinnes, 27. des Wägesinnes, 28. des Farbensinnes, 29. des Ordnungssinnes, 30. des Zahlensinnes, 31. des Ortssinnes, 32. des Erinnerungssinnes, 33. des Zeitsinnes, 34. des Tonsinnes, 35. des Sprachsinnes, 36. des Causalitätssinnes, 37. des Vergleichssinnes.

Hirn-Atlas von 1864: Geilheit im Zwischenhirn?

Berwick dagegen glaubt, die Atome der Grammatik gefunden zu haben – bei Noam Chomsky, der nur wenige Häuserblocks vom Hochhaus der Künstlichen Intelligenz am Technology Square entfernt arbeitet.

Chomsky, den viele für den einflußreichsten Linguisten des Jahrhunderts halten, predigt seit langem seine Theorie vom universalen Sprachkode. Vor zehn Jahren stellte er seine Fassung der Urgrammatik vor, die Berwick jetzt dem Computer beizubringen versucht. Jedem Satz liegt nach Chomskys Vorstellung ein Baum zugrunde, in den Verästelungen dieses Baumes liegt das Geheimnis der Sprache verborgen.

„Wenn ein Kind sprechen lernt, dann wird sozusagen an jeder der Gabelungen ein Schalter im Hirn umgelegt", erläutert Berwick. „Im Alter von drei oder vier Jahren sind dann schließlich alle Schalter auf Deutsch, Englisch oder Japanisch gestellt."

Diese Vorgänge im Kopf eines Kleinkindes kann Berwick per Tastendruck am Computer simulieren. Wenige Sekunden nachdem er einen englischen Satz in die Tasten tippt, wächst ein Bäumchen auf dem Computerschirm, geschmückt mit Verben, Artikeln und Pronomen des eingegebenen Satzes. Übersetzen besteht für Berwick darin, den entsprechenden Baum einer anderen Sprache mit demselben Baumschmuck zu behängen.

„Die japanische Sprachstruktur zum Beispiel ist eine genaue Spiegelung der englischen", erklärt er. Japanische Verben nämlich stehen, anders als im Englischen, immer am Ende des Satzes.

Auch spanische Bäumchen kann Berwick bereits wachsen lassen, und Warlpiri-Gewächse, eine besonders exotische Sprache australischer Eingeborener, die den Sprachforschern als Testsprache dient.

Die Übersetzerfähigkeiten seines Programms jedoch nehmen sich noch kümmerlich aus. Zwar überbietet es bereits jenen Japaner, der, vermutlich eifrig im Wörterbuch blätternd, den folgenden bezaubernden Satz für die deutsche Betriebsanleitung eines japanischen Farbmonitors schuf: „Nimmer diesen Monitor legen, wo der Schnur von Personen darauf spazierengehen grausam behandelt wird." Für praktische Zwecke ist das Berwick-Programm dennoch kaum tauglich. Nicht einmal an das mühsame Stottern anderer Übersetzungscomputer reicht es heran.

Berwick ficht das nicht an. „Wir machen hier Forschung", verteidigt er sich. „Außerdem kann unser Programm auch Sätze mit leichten Fehlern analysieren, wo andere sofort abstürzen. Und das ist wesentlich: Schließlich ist ja fast nie hundertprozentig korrekt, was wir sagen."

Und dann beweise noch ein anderes Ergebnis, daß er auf dem richtigen Weg sei: „Wenn wir den Computer Japanisch in Englisch übersetzen lassen, dann macht er zuerst dieselben Fehler wie ein Japaner – bis wir die Schalter richtig gestellt haben."

Im nächsten Heft

Computer brabbeln Kleinkindsprache – Der Generalbaß des Bewußtseins – Das Rätsel des Erkennens – Was denkt eine Schnecke?